

Работа выполнена в Томском политехническом университете при финансовой поддержке Минобрнауки России, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», Соглашение № 14.575.21.0068, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57514X0068.

Список использованных источников

1. Yole Development //www.yole.fr
2. Русская ассоциация МЭМС //www.mems-russia.ru
3. Система мониторинга напряжённого состояния зданий и конструкций. Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева РАН - научно-исследовательский институт в области информационных технологий, вычислительной техники и микроэлектроники. //www.ipmce.ru/custom/sensornetworks/products/smbuilding/
4. Nesterenko T.G., Koleda A.N., Barbin E.S., Uchaikin, S.V. Temperature error compensation in two-component Micromechanical Gyroscope // IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. 2014. Volume 4, Issue 10. – p. 1598-1605.
4. Koleda A.N., Barbin E.S., Nesterenko T.G. Three-component microelectromechanical accelerometer // Proceedings of 20th Saint-Petersburg international conference on integrated navigation systems, 22-24 May 2015, Saint-Petersburg, Russia.
5. Tamara G. Nesterenko, Evgeniy S. Barbin, Aleksey N. Koleda, Alisa A. Arshinova. Metrological performance of integrated multiple axis MEMS accelerometers under thermal effect // XXI IMEKO World Congress “Measurement in Research and Industry” August 30 - September 4, 2015, Prague, Czech Republic.

ИЗМЕРЕНИЕ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ОДНОЖИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОВОДА В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

ГОЛЬДШТЕЙН А.Е., ВАВИЛОВА Г.В., КИСЕЛЁВА Е.К.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет;

Введение

Погонная электрическая емкость кабеля и связанное с ней волновое сопротивление являются одними из основных характеристик ряда кабельных изделий, таких как кабели связи, кабели управления, радиочастотные кабели. Значение погонной емкости нормируется стандартами на соответствующие виды кабелей [1].

Контроль емкости кабеля на соответствие требованиям стандартов осуществляется по ГОСТ 27893-88 [2]. Данный стандарт определяет порядок выходного контроля, который осуществляется с использованием отрезка готового кабеля.

Такая методика проведения контроля имеет существенные недостатки, связанные с невозможностью контроля кабеля по всей его длине и получением информации о качестве кабеля уже после завершения процесса его изготовления.

Эти недостатки устраняются в случае проведения контроля еще в процессе производства при изготовлении входящих в состав кабеля одножильных проводов на стадии нанесения изоляции на электропроводящую жилу. Для этого используется трубчатый электрод, погруженный в воду (обычно в охлаждающую ванну экструзионной линии). В процессе контроля измеряется емкость конденсатора, одной из обкладок которого является электропроводящая жила провода, а другой – вода, окружающая его изоляционную оболочку и находящаяся в электрическом контакте с трубчатым электродом, через который непрерывно движется контролируемый провод. Данный метод контроля реализован в разработках ведущих фирм, специализирующихся в выпуске

приборов контроля для кабельной промышленности: Sikora, Zumbach [3, 4, 5]. Достоинствами этого метода контроля по сравнению с методом, используемым для выходного контроля кабельной продукции [2], являются возможность контроля электрического провода по всей его длине и получение информации о качестве провода еще в процессе изготовления. По сути, на сегодняшний день для технологического контроля погонной емкости одножильного электрического провода описанный метод не имеет альтернативы.

Постановка задачи исследований

На рис. 1 показана конструкция используемого для реализации описанного выше метода контроля электроемкостного измерительного преобразователя (ЭЕИП).

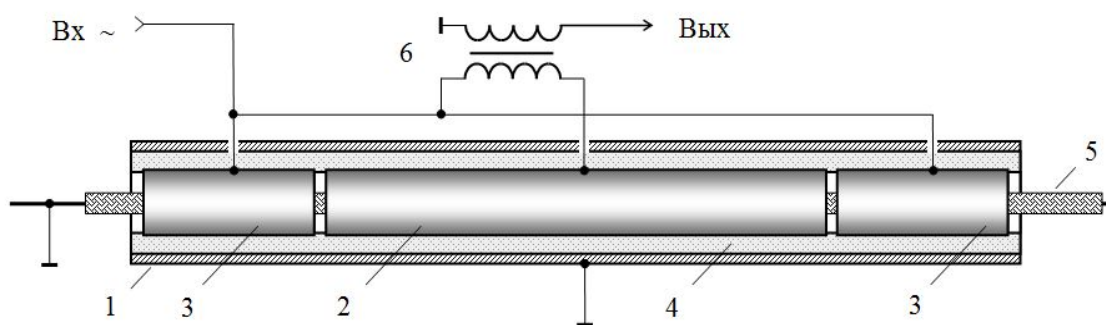


Рис. 1. Конструкция электроемкостного измерительного преобразователя

Составными элементами преобразователя являются цилиндрический металлический корпус 1, трубчатый измерительный электрод 2, два дополнительных трубчатых электрода 3.

Измерительный и дополнительные электроды изолированы от корпуса изоляционным материалом 4. Контролируемый провод 5 пропускается через трубчатые электроды преобразователя. Дополнительные электроды используются для обеспечения однородности электрического поля на краях измерительного электрода. Электропроводящая жила провода и корпус преобразователя соединены с общей точкой (землей). Трубчатые электроды соединены с генератором переменного напряжения U , имеющего угловую частоту ω . Измерение силы тока в электрической цепи измерительного электрода осуществляется с использованием трансформатора тока 6. Преобразователь вместе с находящимся в нем участком контролируемого провода находится в воде, а точнее в водном электропроводящем растворе имеющих в технической воде солей, кислот и оснований.

Цель данной работы заключалась в исследовании влияния на функцию преобразования рассматриваемого ЭЕИП его основных конструктивных параметров и электропроводности воды, выборе оптимальных значений конструктивных параметров преобразователя, обеспечивающих максимальную достоверность контроля погонной емкости электрического провода, разработке алгоритма отстройки от влияния на результаты измерения погонной емкости электропроводности воды, экспериментальной проверке эффективности предлагаемой отстройки.

Выбор оптимальных конструктивных параметров ЭЕИП

Основными конструктивными параметрами ЭЕИП являются внутренний диаметр трубчатых электродов, длина измерительного и дополнительных электродов, расстояние (зазор) между измерительным и дополнительными электродами, внутренний диаметр цилиндрического корпуса преобразователя.

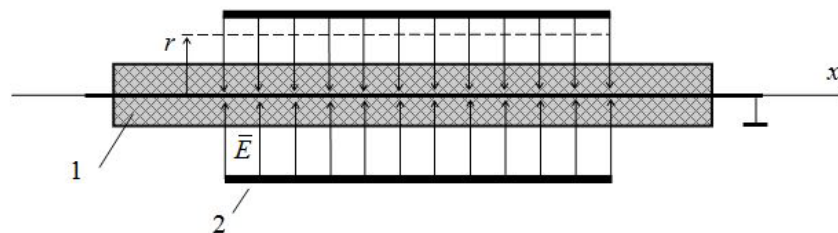


Рис. 2. Поле внутри преобразователя: 1 – провод; 2 – измерительный электрод.

Оптимальной конструкцией ЭЕИП будем считать такую, при которой обеспечивается наиболее высокая однородность в продольном (осевом) направлении электрического поля между внутренней поверхностью трубчатого измерительного электрода и проводящей жилой контролируемого электрического провода (рис. 2). Только в этом случае обеспечивается минимальная зависимость функции преобразования погонной емкости электрического кабеля в выходной сигнал ЭЕИП от геометрических размеров провода, электрических свойств изоляции и изменения электропроводности воды.

Признаками однородности электрического поля являются одинаковость значений радиальной составляющей E_r вектора напряженности электрического поля \vec{E} и равенство нулю продольной составляющей E_x (направлена вдоль оси кабеля x) при любом фиксированном значении радиуса r внутри измерительного электрода (рис. 2).

В качестве критерия продольной однородности поля внутри измерительного электрода в данном случае удобно использовать отношение β значений погонной емкости C_0 между электродом и проводящей жилой кабеля на участке в центральной части электрода (где поле является заведомо однородным в продольном направлении) и погонной емкости C_k на участках по краям измерительного электрода. Значение величины β при оптимальных значениях конструктивных параметров стремится к единице. Во всех анализируемых случаях в качестве участка с однородным полем рассматривалась центральная часть измерительного электрода, длина которой равна половине его общей длины. В качестве участка измерительного электрода, для которого оценивалась однородность электрического поля в продольном направлении, рассматривалась оставшая часть измерительного электрода.

Для обеспечения продольной однородности поля внутри измерительного электрода внутренний диаметр трубчатых электродов должен быть минимальным.

Однако производственные условия требуют, чтобы контролируемый провод свободно перемещался внутри ЭЕИП, поэтому внутренний диаметр трубчатых электродов должен быть как минимум в 2 раза больше наружного диаметра изоляции провода.

Чем длиннее измерительный электрод, тем меньшее влияние будет оказывать неоднородность поля в продольном направлении на краях измерительного электрода. Но в этом случае возрастает продольный габаритный размер преобразователя, а кроме того при большой длине электрода не может быть обеспечена требуемая локальность контроля, для достижения которой наоборот рекомендуется использовать измерительный электрод минимальной длины [6]. Компромиссным размером является длина измерительного электрода порядка (200...300) мм.

Внутренний диаметр цилиндрического корпуса определяет значение начальной емкости ЭЕИП (без объекта контроля). Поэтому из соображений его минимизации внутренний диаметр корпуса целесообразно выбирать, по крайней мере, в два раза превышающим наружный диаметр трубчатых электродов, а в качестве изолятора использовать воздушный зазор.

Оптимальные значения остальных конструктивных параметров ЭИИП могут быть определены путем компьютерного моделирования преобразователя. Создание 3D модели преобразователя осуществлялось в среде моделирования COMSOL Multiphysics 3.5a.

Были заданы следующие фиксированные параметры модели: диаметр проводящей жилы кабеля – 2 мм; диаметр изоляционной оболочки кабеля – 6 мм; длина измерительного электрода – 200 мм; внутренний диаметр электродов – 20 мм; внутренний диаметр корпуса – 40 мм; толщина стенок электродов и корпуса – 1 мм; амплитуда потенциала электродов – 5 В, частота поля – 10 кГц.

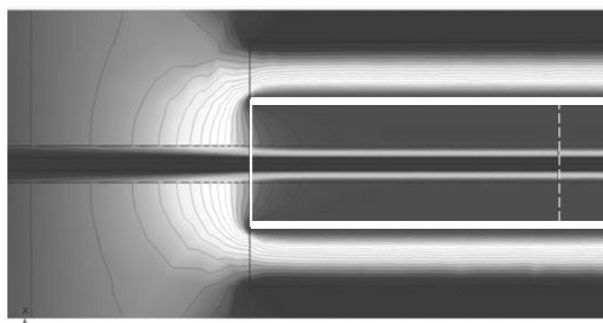


Рис. 3. Картина поля для ЭИИП без дополнительных электродов (вода дистиллированная)

При моделировании задавались два варианта электрических свойств воды: вода дистиллированная (удельная электропроводность $\sigma = 10^{-4}$ См/м) и вода соленая ($\sigma = 0,8$ См/м)

На рис. 3 эквипотенциальными линиями и оттенками серого показано распределение электрических потенциалов при взаимодействии электрического поля преобразователя с электрическим кабелем для случая отсутствия дополнительных электродов и использования дистиллированной воды.

На рис. 4 показано распределение значений продольной E_x и радиальной E_r пространственных составляющих вектора напряженности электрического поля преобразователя. Напряженность электрического поля определялась в средней части оболочки кабеля при значении радиуса вдвое превышающем радиус проводящей жилы (рис. 4а) и вблизи внутренней поверхности измерительного электрода (рис. 4б). Начало координат O здесь и далее совпадает с центром преобразователя.

Анализ результатов моделирования, представленных на рисунках, показывает, что при отсутствии дополнительных электродов имеет место «выпучивание» электрического поля у краев электрода и, как следствие, высокая неоднородность поля в этих областях.

Для определения значения электрической емкости между измерительным электродом и проводящей жилой кабеля можно воспользоваться математическими выражениями, устанавливающими связь между энергией электрического поля конденсатора W , разностью потенциалов на его электродах U , емкостью конденсатора C , напряженностью электрического поля E , индукцией электрического поля D [7]:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \int_V \frac{\bar{D}\bar{E}}{2} dV, \quad (1)$$

где V – объем, занимаемый электрическим полем.

Из (1) может быть получено удобное выражение для расчета значения емкости численным методом в среде COMSOL Multiphysics:

$$C = \frac{1}{U^2} \int_V \bar{D}\bar{E} dV.$$

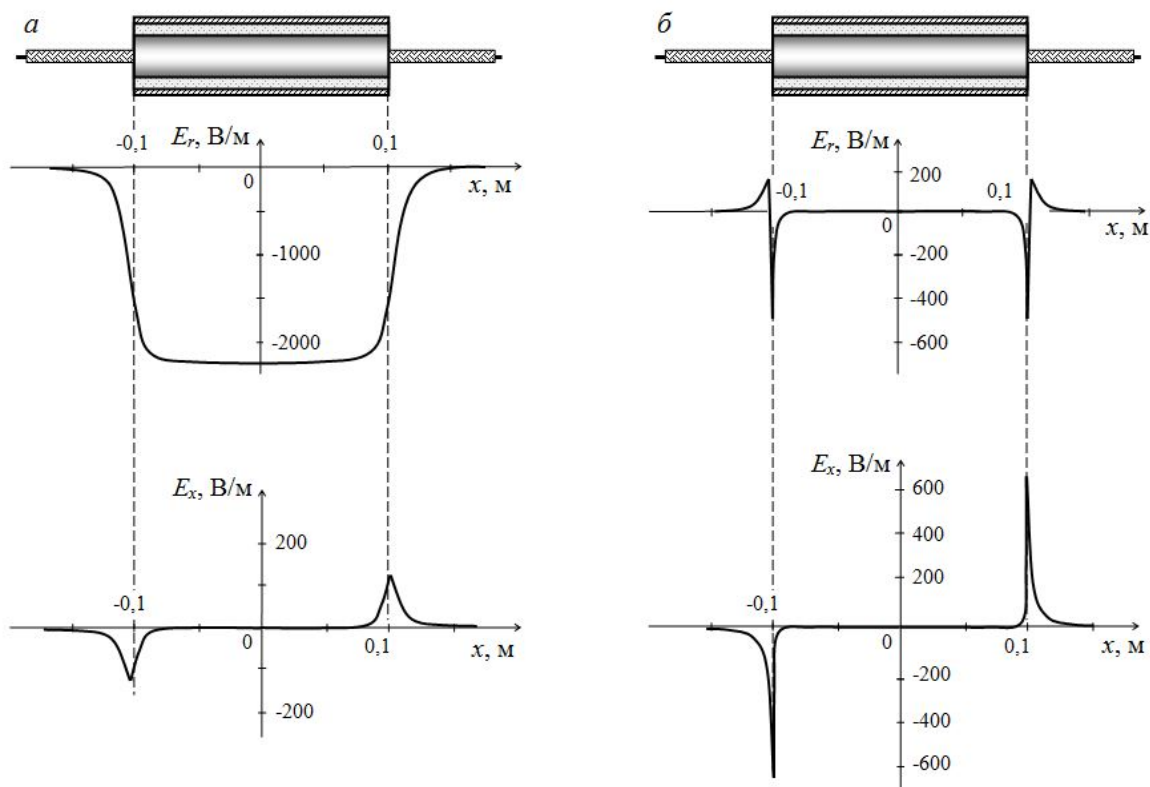


Рис. 4. Распределение радиальной E_r и продольной E_x составляющих напряженности электрического поля в средней части оболочки кабеля (а) и вблизи внутренней поверхности измерительного электрода (б) для ЭИП без дополнительных электродов

Для нахождения емкости C_0 между электродом и проводящей жилой кабеля на участке с однородным полем в центральной части электрода интегрирование осуществляется по объему цилиндра, ограниченному внутренней поверхностью измерительного электрода и поперечными плоскостями с координатами $x = -0,05$ м и $x = 0,05$ м.

Емкость C_k между электродом и проводящей жилой кабеля на участках с неоднородным полем по краям измерительного электрода в первом приближении может быть определена интегрированием по объему цилиндров, ограниченному внутренней поверхностью измерительного электрода и поперечными плоскостями с координатами $x = -0,1$ м; $x = -0,05$ м и $x = 0,05$ м; $x = 0,1$ м. Реально электрическое поле рассматриваемого цилиндрического конденсатора выходит за пределы интегрирования. Однако погрешность определения емкости C_k , обусловленная допущением, что электрическое поле сосредоточено только внутри измерительного электрода и не выходит за его габариты является существенной только для вариантов конструкции преобразователя, характеризующихся высокой неоднородностью поля в зоне измерения. Для оптимальных вариантов конструкции преобразователя, обеспечивающих однородное поле, эта погрешность становится пренебрежимо малой, а используемое допущение значительно упрощает решение задачи.

Для рассматриваемого случая ЭИП без дополнительных электродов в результате расчетов были получены значения:

$$C_0 = 1,259 \text{ пФ}; \quad C_k = 1,499 \text{ пФ}; \quad \beta = \frac{C_k}{C_0} = 1,19.$$

Таким образом, при заданных условиях степень неоднородности электрического поля в продольном (осевом) направлении, составляет приблизительно 20%, что обуславливает наличие методической погрешности измерения погонной емкости того же порядка.

Использование вместо дистиллированной воды соленой качественно дает ту же картину поля и близкие количественные параметры:

$$C_0 = 1,266 \text{ пФ}; \quad C_k = 1,499 \text{ пФ}; \quad \beta = \frac{C_k}{C_0} = 1,18.$$

Радикального повышения однородности электрического поля в продольном направлении по всей длине измерительного электрода можно добиться использованием дополнительных электродов.

На рис. 5 показано распределение электрических потенциалов при взаимодействии электрического поля преобразователя с электрическим проводом для случая наличия дополнительных электродов и использования дистиллированной воды. Длина дополнительных электродов задавалась равной внутреннему радиусу измерительного электрода $R = 10 \text{ мм}$, расстояние между измерительным и дополнительными электродами 1 мм.

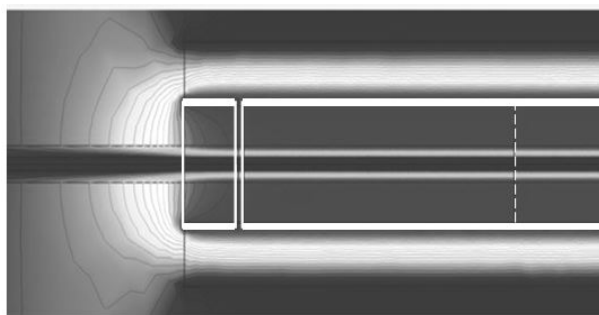


Рис. 5. Картина поля на краю измерительного преобразователя для ЭИП с дополнительными электродами длиной $1R$ и зазоре 1 мм (вода дистиллированная)

На рис. 6 показано распределение значений продольной E_x и радиальной E_r пространственных составляющих вектора напряженности электрического поля преобразователя вдоль продольной оси.

Анализ результатов моделирования, показывает, что при наличии дополнительных электродов «выпучивание» электрического поля переносится в этом случае к дальним относительно измерительного электрода краям дополнительных электродов. По всей длине измерительного электрода наблюдается высокая однородность поля в продольном направлении. Значение величины β составляет в этом случае 1, что соответствует оптимальному варианту конструкции.

С использованием разработанной компьютерной модели преобразователя было исследовано влияние на степень однородности электрического поля длины дополнительных электродов. На рис. 7 приведена зависимость значения величины β от изменения длины дополнительных электродов l от нуля (отсутствие электродов) до значения, равного внутреннему радиусу электрода R .

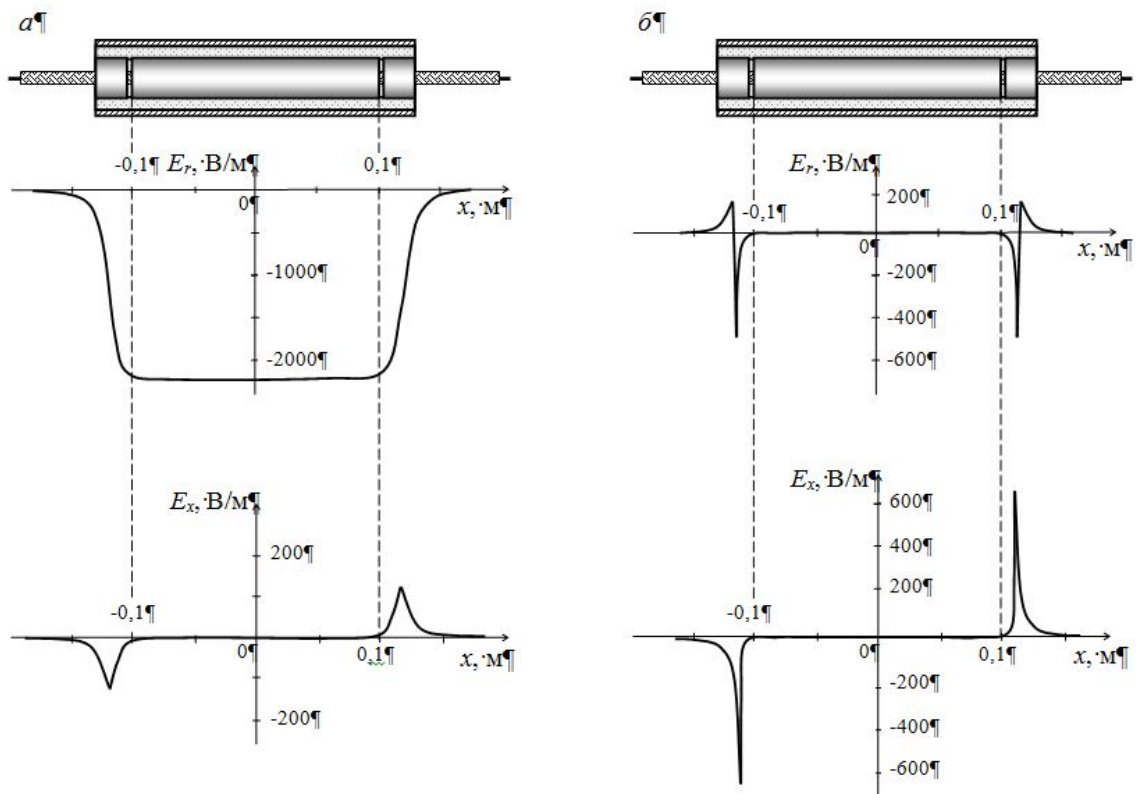


Рис. 6. Распределение радиальной E_r и продольной E_x составляющих напряженности электрического поля в средней части оболочки кабеля (а) и вблизи внутренней поверхности измерительного электрода (б) для ЭИП с дополнительными электродами длиной $1R$ и зазоре 1 мм

Анализ полученной зависимости $\beta(l)$ показывает, что высокая однородность электрического поля в продольном направлении обеспечивается при длине дополнительных электродов $0,5R$ и более. Практически такие же результаты получаются при использовании соленой воды.

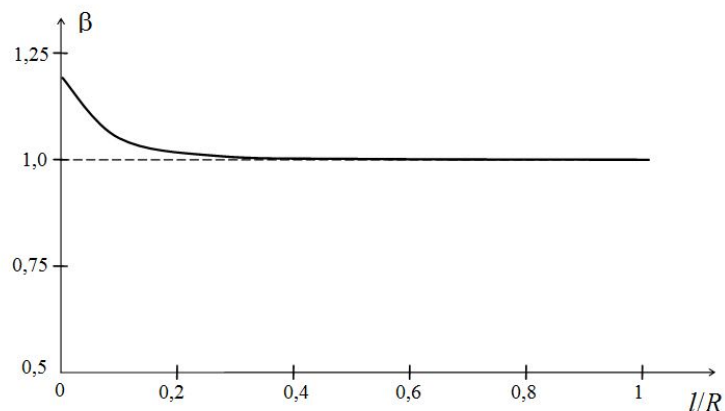


Рис. 7. Зависимость значения β от длины дополнительных электродов при зазоре 1 мм

Также было исследовано влияние на однородность электрического поля преобразователя расстояния между измерительным и дополнительными электродами. Достаточно однородное в продольном направлении поле при необходимости может быть получено при весьма малой длине дополнительных электродов, но при их значительном удалении от измерительного электрода.

Обобщая результаты исследования влияния на характеристики ЭИП длины дополнительных электродов и зазора между дополнительными и измерительным электродами можно сделать вывод, что оптимальными конструктивными параметрами преобразователя при использовании как дистиллированной, так и соленой воды являются длина дополнительных электродов $(0,5 \dots 1) R$ и зазор $(1 \dots 3)$ мм.

Экспериментальное исследование влияния на функцию преобразования эип электропроводности воды

На рис. 8 показана схема замещения электрической цепи измерительного электрода. В нее кроме электрических параметров провода – емкости и активного сопротивления изоляции участка провода, взаимодействующего с электрическим полем измерительного электрода C_x и R_x входят также емкости C_1 и C_2 и активные сопротивления R_1 и R_2 . Элементы электрической цепи C_1 и R_1 отражают электрические свойства слоя воды, находящейся между внутренней поверхностью измерительного электрода и наружной поверхностью контролируемого провода, а элементы C_2 и R_2 отражают наличие паразитных емкости и активного сопротивления между измерительным электродом и землей (общим проводом). Значения всех указанных дополнительных элементов электрической цепи в разной мере зависят от электропроводности воды.

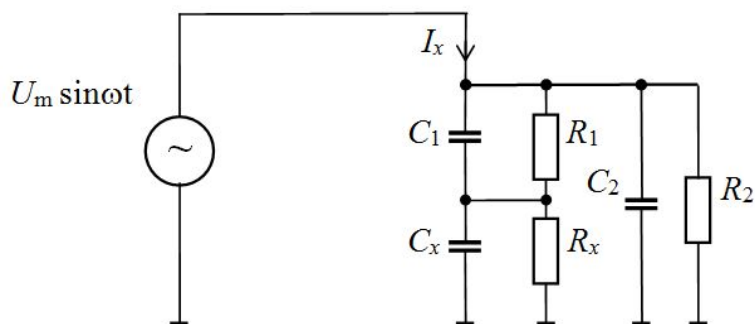


Рис. 8. Схема замещения электрической цепи измерительного электрода

Для исследования влияния на результаты измерения емкости электрического провода изменений удельной электрической проводимости водного раствора были использованы образцы одножильных проводов с наружным диаметром до 4 мм со значениями погонной емкости, находящимися в интервале от 180 пФ/м до 460 пФ/м и близкими значениями тангенса угла диэлектрических потерь изоляции. За действительное значение погонной емкости принимался результат ее измерения в соответствии с ГОСТ 27893-88 [2]. Для изменения удельной электрической проводимости водного раствора производилось растворение в изначально пресной воде поваренной соли NaCl , чем обеспечивалось изменение весовой концентрации соли λ в диапазоне $(0 \dots 4)$ г/л.

Для проведения экспериментальных исследований был использован ЭИП с теми же основными конструктивными и электрическими параметрами, которые использовались при математическом моделировании.

Температура раствора и амплитуда переменного напряжения в процессе эксперимента поддерживались постоянными. Эксперименты производились при комнатной температуре воздуха и воды $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$. Здесь следует отметить, что изменение удельной электрической проводимости водного раствора может происходить не только при изменении концентрации какой либо примеси, но и при изменении температуры воды либо химического состава примеси. Оба указанных выше фактора оказывают такое же влияние на результаты контроля, что и изменение солености. Соответственно для отстройки от влияния всех трех перечисленных факторов применимы одинаковые методы отстройки.

На рис. 9 приведены полученные в результате эксперимента годографы относительного значения тока \hat{I} от изменения погонной емкости провода C_{Π} (сплошные линии) и весовой концентрации соли λ (пунктирные линии).

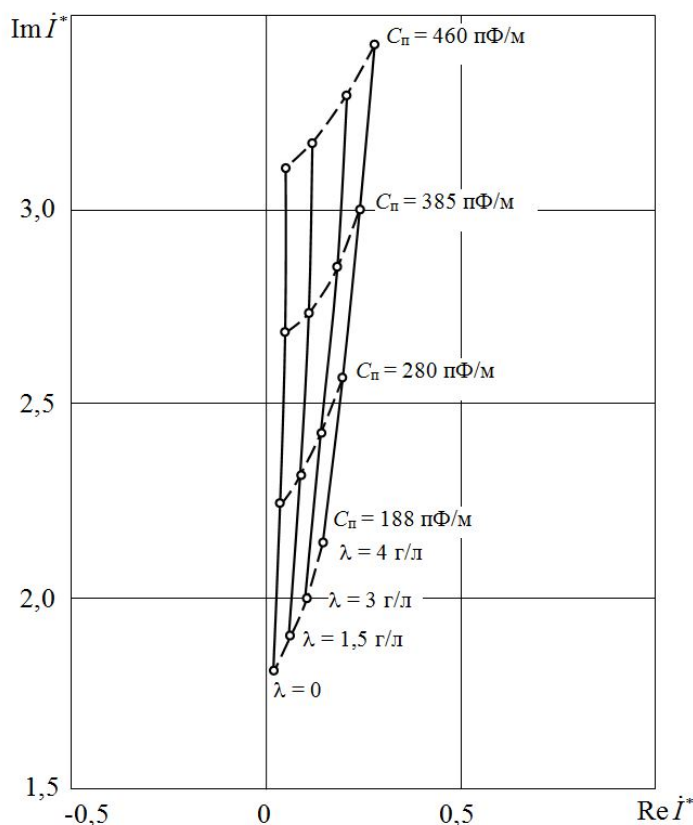


Рис. 9. Годографы сигнала электроемкостного преобразователя от изменения погонной емкости электрического кабеля C_{Π} и весовой концентрации соли λ

В качестве нормирующего значения силы тока принималось его значение для случая отсутствия кабеля в преобразователе (что соответствует значению погонной емкости $C_{\Pi} = 0$) и $\lambda \rightarrow 0$ (дистиллированная вода).

Анализ зависимостей рис. 9 показывает, что в качестве информативного параметра выходного сигнала ЭЕИП при измерении погонной емкости провода целесообразно использовать амплитуду тока \hat{I} , линейно возрастающую при увеличении погонной емкости провода. Изменение весовой концентрации соли в исследуемом интервале вызывает изменение амплитуды тока от 10 % для больших значений C_{Π} до 20 % для малых значений. Соответственно проведение измерения погонной емкости без учета данного влияющего фактора обуславливает столь же высокую погрешность измерения.

Отстройка от влияния на функцию преобразования ЭЕИП изменений электропроводности воды

Для нахождения функции обратного преобразования измеренного значения тока в значение погонной емкости кабеля с учетом влияния солености воды воспользуемся результатами экспериментальных исследований, приведенными на рис. 10.

Анализ этих результатов показывает, что для определения величины погонной емкости провода C_{Π} может быть использована линейная функция преобразования вида

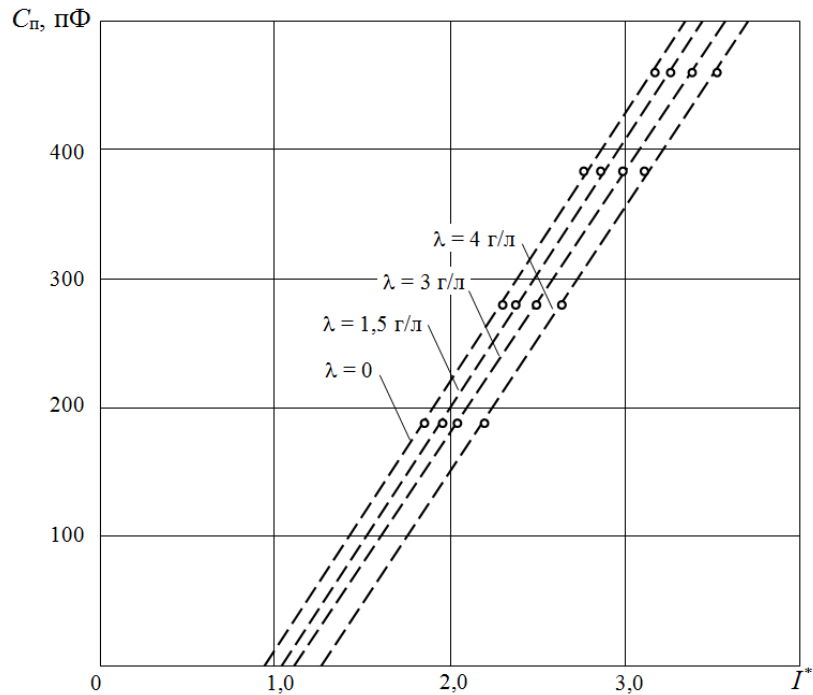


Рис. 10. Зависимость относительного амплитудного значения тока I^* от погонной емкости провода C_n и весовой концентрации соли в воде λ

$$C_n = C_{01}(\lambda) + k_1(\lambda) \cdot I^*, \quad (2)$$

где $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями концентрации соли в воде.

Функции $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ с достаточной степенью точности описываются полиномами второй степени, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами конкретного электроемкостного преобразователя.

Значение весовой концентрации соли, необходимое для определения значений функций $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$, может быть определено как прямыми, так и косвенными измерениями. В данной работе исследован метод отстройки от влияния на результаты контроля изменения солености воды на основе косвенных измерений.

Анализ зависимостей рис. 9 показывает, что с возрастанием весовой концентрации соли монотонно возрастает фазовый угол φ между вектором тока \mathcal{I} и мнимой осью комплексной плоскости и соответственно возрастает отношение $t = \text{Re } \mathcal{I} / \text{Im } \mathcal{I}$, равное $\text{tg } \varphi$. Это дает возможность использовать результаты измерения комплексных составляющих тока \mathcal{I} для отстройки от изменения электропроводности воды.

По аналогии с (2) уравнение обратного преобразования значения амплитуды тока \mathcal{I} в значение погонной емкости описывается линейной зависимостью

$$C_n = C_{02}(t) + k_2(t) \cdot I^*, \quad (3)$$

где $C_{02}(t)$ и $k_2(t)$ – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями величины t , отражающей электропроводность воды.

Функции $C_{02}(t)$ и $k_2(t)$ также как и функции $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ с достаточной степенью приближения могут быть описаны полиномами второй степени, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами используемого электроемкостного преобразователя и находятся экспериментально при первичной калибровке измерителя.

Для оценки эффективности описанного метода отстройки от влияния изменения

электропроводности воды на результаты контроля погонной емкости одножильного электрического провода был осуществлен численный эксперимент с использованием функции преобразования (2) для обработки массива экспериментальных данных, полученных для одножильных проводов со значениями погонной емкости в диапазоне (160...460) пФ/м при изменении весовой концентрации соли в воде в диапазоне (0...4) г/л.

На рис. 11 представлены результаты данного исследования. Интервалы изменений результатов измерений погонной емкости C_x при изменении электропроводности воды для различных проводов (имеющих различные действительные значения погонной емкости C_d) без использования отстройки от влияния изменения электропроводности воды показаны на рисунке пунктирными линиями, а для случая использования отстройки – сплошными. Анализ этих результатов показывает, что без отстройки от влияния изменений электропроводности относительная погрешность измерения может достигать 20 %, а при использовании отстройки рассчитанные по формуле (3) значения погонной емкости не отличаются для указанных диапазонов изменения влияющих параметров от действительных значений более чем на 2,5 %. Ограничением диапазонов изменения влияющих параметров указанная погрешность измерения может быть кратно уменьшена.

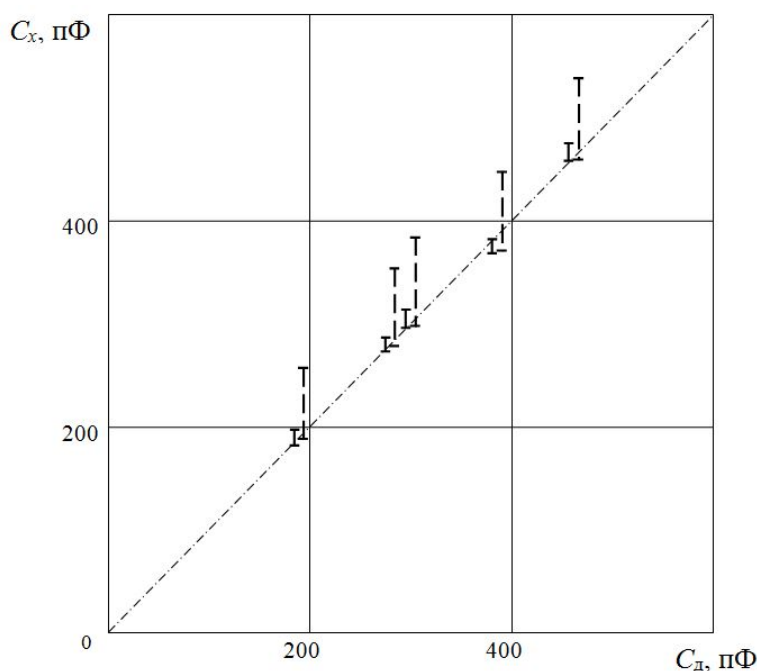


Рис. 11. Интервалы изменений результатов измерений погонной емкости C_x при изменении электропроводности воды для различных действительных значений погонной емкости C_d

Заключение

На основе результатов компьютерного моделирования взаимодействия электрического поля электроемкостного измерительного преобразователя измерителя погонной емкости с электрическим кабелем осуществлен выбор оптимальных конструктивных параметров основных элементов преобразователя: внутреннего диаметра трубчатых электродов, длины измерительного и дополнительных электродов, расстояния между измерительным и дополнительными электродами, внутреннего диаметра цилиндрического корпуса преобразователя. Оптимальность конструкции оценивалась степенью приближения к единице отношения значений погонной емкости между электродом и проводящей жилой кабеля на участке в центральной части электрода и погонной емкости на участках по краям измерительного электрода. Показано, что при технологическом контроле погонной емкости электрического провода существенное влияние на результаты контроля оказывает изменение удельной электропроводности

раствора вследствие изменения солености воды, в которую погружен электроемкостный преобразователь, а также ее температуры и состава примесей. Рассмотрен метод отстройки от влияния указанных факторов на результаты контроля, основанный на косвенном измерении удельной электропроводности и введении соответствующей поправки в функцию преобразования. Показано, что использование данного метода отстройки позволяетратно уменьшить погрешность измерения.

Список использованных источников

1. ГОСТ 11326.0-78. Радиочастотные кабели. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2003.– 35 с.
2. ГОСТ 27893–88 (СТ СЭВ 1101–87). Кабели связи. Методы испытаний.– М.: Изд-во стандартов, 1989.– 26 с.
3. SIKORA Technology to Perfection [Электронный ресурс] / CAPACITANCE 2000 – Режим доступа: URL: <https://www.sikora.net/ru/products/capacitance-2000/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.04.2015).
4. ZUMBACH Electronics [Электронный ресурс] / CAPAC[®]/FFT/SRL – Режим доступа: URL: <http://www.zumbach.com/ru/products/product-finder/capac-fft-srl/capac-overview.html/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 20.04.2015).
5. Pat. US 20030128038 A1. IC G01R27/26. Capacitance monitoring systems. Publ. 10.07.2003, esp@cenet database. – 3 p.: Ил.
6. Pat. GB 2358928. IC G01B 7/06. A system for monitoring fluctuations in the thickness of a cable insulating sheath. Publ. 08.08.2001, esp@cenet database. – 4 p.: Ил.
7. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля.– М.: Энергия, 1968.– 488 с.

FRACTAL ANALYSIS OF DATA IN MULTI SENSOR SYSTEMS

Vengrinovich V.L., Lykov V. A.

Laboratory of Computer Diagnostics, Institute of Applied Physics, Belarus Academy of Sciences; National Research Tomsk State University.

1. Introduction

MSS are more widely used in robot technology, Structural Health Monitoring (SHM), and a lot of medical diagnosis techniques for the goal of decision making. Usually the decision are taken on the primitive thresholding level: everything what is higher than a threshold is identified as a damage or pathology. The smart techniques like principle Component Analysis (PCA) or Independent Component Analysis (ICA), etc. give additional features to the object under observation [1-3]. But as a whole the problems needs further investigation, because there is a deep gap between perceived sensory system signal and its interpretation.

In living systems, the signal is perceived by the sense organs, and analyzed and interpreted by the brain of an animal or human. The separation of sensing and interpreting is due to differences in biophysics of sense organs and brain, respectively. Mathematically speaking, if the effects of external stimuli on the sensors are the forward problems, the problem of reconstructing a pattern of danger and risk assessment given measured signals, is inverse one. In animals, this inverse problem solution occurs at the level of "sensation, perception and representation" (I.P.Pavlov). It is known that the elephants leaved the risk area of tsunami in Tailand in good time, while the number of victim was more than 200 thousands. Full danger prediction systems was activated automatically. In future the smart data processing techniques should not only feel the signals but also estimate risks, recognize patterns and predict the reactions.

In technical systems, where the sensor signals are evaluated quantitatively, the restoration of a danger pattern must be performed by solving the inverse problem using a priori information from past experience [4]. From the standpoint of the Zellner theorem [5] of an optimal signal